

КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА УДАЛЕНИЯ СТРУЖКИ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ ПРОФИЛЬНЫХ ПАЗОВ

Нечепаяев В. Г., Гнитько А. Н., Смоляга В. Г.

ДонНТУ, г. Донецк, Украина

Тел.: +38 (062) 3010835, e-mail: opt@mech.dgtu.donetsk.ua

***Abstract:** New technical decisions of devices for compulsory removal the shavings providing increase of closed profile grooves milling productivity on size up to 2 times are developed. The individual and integrated mathematical models of the basic subsystems functioning and modules of shaving compulsory removal devices are developed. Experimental researches for confirmation of adequacy of the developed mathematical models and definitions of efficiency of the suggested technical decisions are lead.*

***Key words:** shaped grooves, increasing productivity, milling, T-shaped grooves, chips.*

Значительным резервом повышения производительности фрезерования профильных (Т-образных, типа «ласточкин хвост» и т.п.), а также других пазов с затрудненным отводом стружки (далее ПЗОС), является устранение ограничения по фактору наличия неудаленной стружки в зоне обработки [1 и др.]. Эффективным вариантом устранения этого ограничения является принудительное удаление стружки при помощи устройств, использующих гидродинамический потенциал напорных струй жидкости, водо-воздушной смеси и т.д. [2]. В то же время, теоретические основы создания таких устройств не установлены.

Для создания устройств [3], обеспечивающих принудительное удаление стружки при фрезеровании ПЗОС, выполнены теоретические исследования процессов накопления и удаления стружки при их обработке. С использованием методологии системного подхода и принятых допущений [4]

разработаны 5 математических моделей (ММ), описывающих различные этапы рабочего процесса таких устройств.

1. ММ1 исследования заполнения стружкой пространства между зубьями фрезы в процессе резания, позволяющая определить количество оборотов фрезы N , соответствующее полному заполнению пространства между зубьями.

Конечная зависимость модели имеет вид

$$N = \frac{\frac{l}{3} \left[\frac{h1[\tan \beta_3 h1 + (\tan \beta_3 h1 + 2(l \tan \omega_n))]}{2} + \sqrt{\frac{\tan \beta_3 h1^3 [\tan \beta_3 h1 + 2(l \tan \omega_n)]}{4}} \right]}{S_z(d - a) \cdot l \cdot k_p},$$

где N – количество оборотов фрезы; S_z – подача на зуб фрезы; d – диаметр фрезы; a – ширина предварительно обработанного паза; l – высота режущей части фрезы; k_p – коэффициент разрыхления стружки; $h1$ – длина передней поверхности зуба фрезы; β_3 – угол между передней поверхностью зуба фрезы и поверхностью затылка следующего зуба; ω_n – угол подъема винтовой канавки фрезы.

Анализ приведенной зависимости позволил установить, что заполнение пространства между зубьями фрезы происходит достаточно быстро, в среднем за 2-5 оборотов (в зависимости от условий обработки).

2. ММ2 исследования перемещения элемента стружки вдоль передней поверхности зуба фрезы под действием инерционных сил и гидродинамической силы принудительного воздействия, позволяющая определять мгновенное значение скорости v_1 перемещения элемента стружки в результате инерционного и (или) принудительного воздействия на него в пределах инструмента (фрезы).

Конечные зависимости модели имеют вид

$$v_1 = \alpha_1 \cdot C_1 \cdot e^{\alpha_1 \cdot t} + \alpha_2 \cdot C_2 \cdot e^{\alpha_2 \cdot t},$$

$$\alpha_{1,2} = \frac{-A \pm \sqrt{A^2 - 4B}}{2}, C_1 = -\frac{D \cdot \alpha_2}{B \cdot (\alpha_2 - \alpha_1)}, C_2 = \frac{D \cdot \alpha_1}{B \cdot (\alpha_2 - \alpha_1)},$$

$$A = 2\omega \cdot f_n, B = -\omega^2 \cos \alpha \cdot (\cos \delta - \sin \delta \cdot f_n),$$

$$D = (2F_{np} / \rho_c \cdot S_z(d-a) \cdot l) \times \\ \times (\cos \beta - \sin \beta \cdot f_n) - g \cdot f_n (1 + \sin \alpha + f_n) + \\ + \omega^2 \left[r_{\phi p} - (h1 - \sqrt[3]{3(S_z(d-a) \cdot l) / \pi / 2}) \cos \alpha \right] \cdot (\cos \delta - \sin \delta \cdot f_n),$$

где t – время перемещения элемента стружки вдоль передней поверхности зуба фрезы; ω – угловая скорость элемента стружки в переносном вращательном движении; f_n – коэффициент трения элемента стружки по передней поверхности зуба фрезы; α – передний угол зуба фрезы; δ – угол наклона вектора центробежной силы инерции; F_{np} – сила принудительного воздействия на элемент стружки; β – угол наклона вектора силы F_{np} к передней поверхности зуба фрезы; ρ_c – плотность элемента стружки; g – ускорение свободного падения; f_n – коэффициент трения элемента стружки по нижней поверхности паза; $r_{\phi p}$ – радиус фрезы.

Анализ этой модели позволил установить, что при обработке сталей и чугунов в рекомендуемом диапазоне геометрических параметров и режимов [5, 6] в 30...100 % случаев отсутствует возможность самоудаления элементов стружки за счет сил инерции ($v_I < 0$).

3. ММЗ исследования перемещения элемента стружки вдоль паза под действием гидродинамической силы принудительного воздействия [7], позволяющая определять расстояние X , на которое перемещается элемент стружки в результате принудительного воздействия на него струи рабочей жидкости за пределами фрезы.

Конечная зависимость модели имеет вид

$$X = \frac{m \cdot \rho_0^2 \cdot h^2 \cdot Q_n^2}{2 \cdot F_n \cdot \left(\frac{\rho_0 \cdot \pi \cdot d_0^2 \cdot h}{4} + m \right)^2},$$

где m – масса элемента стружки; ρ_0 – плотность жидкости; h – длина струи; Q_n – расход жидкости; F_n – сила трения по нижней поверхности паза; d_0 – диаметр отверстия насадка.

4. Технологические операции фрезерования Т-образных пазов структурно обычно состоят из двух переходов – предварительной обработки (фрезерование прямоугольного паза дисковой или концевой фрезой) и окончательной обработки (фрезерование Т-образной фрезой). При обработке Т-образной фрезой отделенная стружка располагается с обеих сторон фрезы – в прямоугольном пазу (рис. 1 а) и в получаемом Т-образном (рис. 1 б).

ММ4 исследования процесса заполнения стружкой пространства пазов [8], позволяющая устанавливать продолжительность заполнения каждого из указанных пазов.

А. Для прямоугольного паза (рис. 1 а)

$$L_1 = \frac{mv_{e1}^2}{2 \cdot F_n},$$

где L_1 – длина обработки Т-образной фрезой, соответствующая заполнению прямоугольного паза стружкой; v_{e1} – скорость элемента стружки на выходе из пространства между зубьями.

Б. Для Т-образного паза

$$L_2 = \frac{[(x_n + d/2 - \pi d/8) - c \tan \varepsilon/2]dc + a^2/4 [\cot \varepsilon (x_n - a/2) - c] + \cot \varepsilon \cdot a^3/16}{(d - a) \cdot l \cdot k_p - (d \cdot c + \cot \varepsilon \cdot a^2/4)},$$

где L_2 – длина обработки, соответствующая заполнению Т-образного паза стружкой; x_n – расстояние, на которое перемещается элемент стружки за пределами фрезы под действием инерционных сил; c – высота

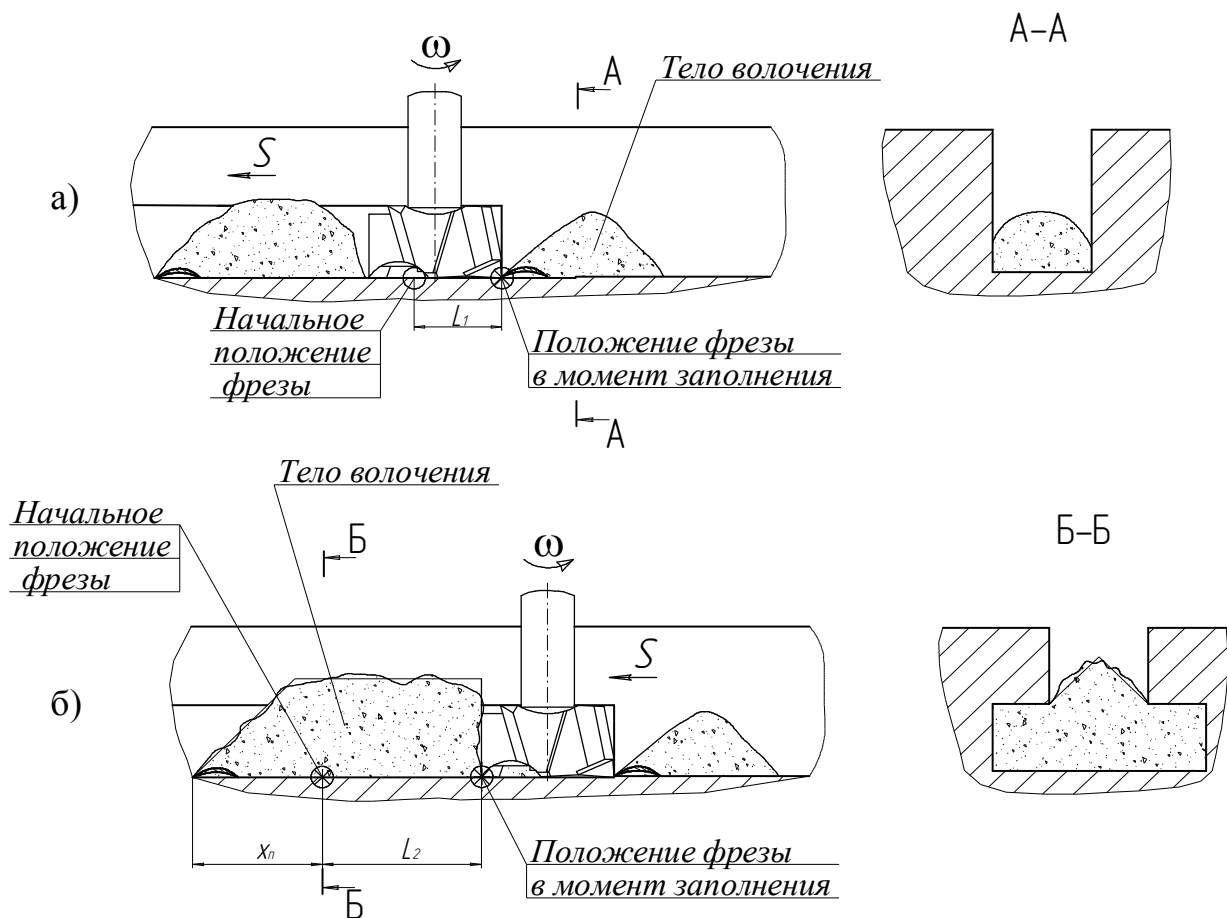


Рис. 1. Схема заполнения стружкой пазов при их фрезеровании: а) прямоугольного паза; б) Т-образного паза

Т-образного паза; ε - угол естественного откоса насыпного массива стружки.

Выполненный анализ позволил установить, что стружка заполняет пространство каждого из пазов через 10 – 30 мм обработки.

5. В случае несвоевременного удаления элементов стружки из них формируются тела волочения значительной длины (рис. 1).

Для определения потребного значения силы принудительного воздействия на тело волочения для его перемещения разработана математическая модель ММ5 [9].

Конечная зависимость ММ5 имеет вид

$$F_{np} = \frac{f \cdot \rho \cdot g \cdot L_m}{\cos \gamma} \left[d \cdot c + 2f \cdot n_{\delta} \left(\frac{2f \cdot n_{\delta} \cdot c + f \cdot n_{\delta} \cdot d - f \cdot n_{\delta} \cdot d_{\kappa}}{c \cdot d} \right)^{-1} \right] \times \\ \times \left(e^{(2f \cdot n_{\delta} \cdot L_m \cdot d^{-1} + f \cdot n_{\delta} L_m \cdot c^{-1} - f \cdot n_{\delta} \cdot d_{\kappa} \cdot L_m \cdot c^{-1} \cdot d^{-1})} - 1 \right) \cdot [c + 0,5(d - d_{\kappa})],$$

где f – коэффициент сопротивления перемещению стружки по пазу; ρ – плотность стружки; L_m – длина тела волочения; γ – угол вектора силы принудительного воздействия; n_{δ} – коэффициент бокового давления; d_{κ} – диаметр концевой фрезы (или ширина дисковой фрезы), используемой для предварительной обработки паза.

Выполненный анализ позволил установить, что F_{np} возрастает нелинейно. Так, при увеличении длины тела волочения в 2 раза, значение F_{np} возрастает почти в 10 раз.

На основе приведенных моделей разработана методика определения рациональных параметров устройств принудительного удаления стружки.

Подтверждение достоверности разработанных теоретических положений и определение эффективности созданных устройств удаления стружки требует проведения соответствующих экспериментальных исследований. Поскольку данных о проведении экспериментальных исследований в этом направлении не установлено, разработка методики их проведения является актуальным вопросом.

Разработанная методика определяет следующие основные направления проведения указанных экспериментальных исследований.

1. Исследование формирования силовых факторов при реализации рабочего процесса фрезерования ПЗОС.
2. Исследование износа рабочих поверхностей режущего инструмента при реализации рабочего процесса фрезерования ПЗОС.
3. Определение эффективности устройств удаления стружки.

В качестве дифференциальных характеристик эффективности устройств принудительного удаления отделенной стружки приняты:

- силы резания, формирующиеся на рабочих поверхностях режущего инструмента (наличие циркулирующей стружки обуславливает возрастание сил резания);

- износ рабочих поверхностей режущего инструмента (наличие циркулирующей стружки обуславливает повышенный износ).

В качестве интегральных показателей эффективности устройств принудительного удаления отделенной стружки приняты:

- производительность фрезерования;

- качество обработки пазов. Качество обработки в данном случае характеризуется точностью размерной обработки и значением параметров состояния поверхностного слоя.

Важным аспектом планирования проведения экспериментальных исследований является выбор условий их проведения. Наиболее представительными условиями проведения экспериментальных исследований, связанных с механической обработкой, являются натурные условия, предусматривающие использование:

- полноразмерного станочного оборудования;

- стандартного режущего инструмента;

- заготовок из рекомендуемых стандартных материалов;

- интенсивных режимов обработки и др.

Указанным требованиям отвечает стенд, созданный в ДонНТУ (рис. 2).

На основании разработанной методики проведены экспериментальные исследования.

Фрезерование ПЗОС в силу замкнутой конфигурации пазов характеризуется ограниченным доступом к зоне обработки, что существенно затрудняет создание устройств принудительного удаления отделенной стружки. Наиболее проблематичной в этом отношении является обработка

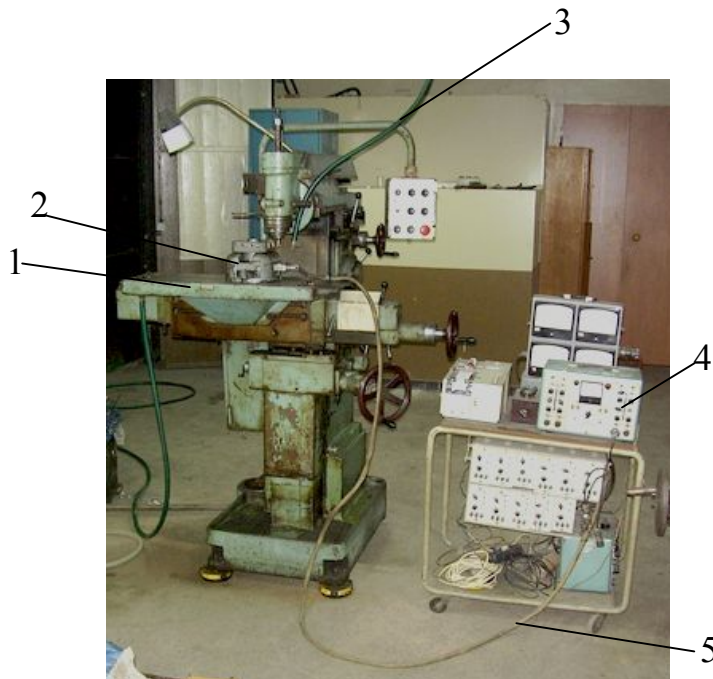


Рис. 2. Общий вид стенда для проведения экспериментальных исследований (1 – фрезерный станок 6М76П-1; 2 – динамометр УДМ600; 3 – устройство принудительного удаления стружки; 4 – регистрирующий комплекс; 5 – линии передачи сигналов)

Проведены экспериментальные исследования процесса удаления стружки.

4. Представлены результаты проведения экспериментальных исследований направленных на подтверждение достоверности разработанных теоретических исследований.

Список литературы: 1. *Родин П. Р.* *Металлорежущие инструменты: Учебник для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – К.: Вища шк. Головное изд.- во, 1986. – 455 с.* 2. *Неченаев В.Г., Гнисько А.Н.* Предпосылки создания технологических систем с комплексным использованием СОТС// ИНЖЕНЕР: студенческий научно-технический журнал / Донецк: ДонГТУ, 2000. - № 1. С. 74-77. 3. Пат. 68794 А України, 7 В23Q11/02, В23Q11/10. Різальний інструмент: *В.Г. Неченаєв, Т.Г. Івченко, О.М. Гнисько*

Т-образных пазов. Поэтому экспериментальные исследования проведены именно для этих пазов.

Выводы.

1. Выполнено теоретическое исследование процесса удаления стружки при фрезеровании пазов с ее затрудненным отводом.

2. Разработана методика проведения экспериментальных исследований процесса удаления стружки.

3. Проведены экспериментальные исследования процесса удаления стружки.

(Україна).- № 2003109627; Заявл. 27.10.2003; Опубл. 16.08.2004, Бюл. №8. – 3 с. **4.** *Неченаев В. Г., Гнисько А. Н.* Математична модель переміщення стружки різальним інструментом при фрезеруванні закритих профільних пазів. Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. Випуск 92. – Донецьк: ДонНТУ, 2005. – С. 72-82. **5.** *ГОСТ 7063 – 72 (СТ СЭВ 115 – 79, СТ СЭВ 4632 – 84)* Фрезы для обработки Т-образных пазов. Технические условия. – М.: Изд. стандартов, 1985. **6.** *ГОСТ 10673 – 75* Фрезы с напаянными твердосплавными пластинами для обработки Т-образных пазов. Технические условия. – М.: Изд. стандартов, 1985. **7.** *Неченаев В., Гнисько А.* Математическая модель эвакуации стружки при фрезеровании закрытых профильных пазов // *Tehnologii Moderne, Calitate, Restructurare. Vol. 4.* Chisinau, Universitatea tehnica a Moldovei, 2005, p. 197 - 182. **8.** *Неченаев В. Г., Гнисько А. Н.* Исследование процесса заполнения закрытых профильных пазов стружкой при их фрезеровании // *Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов.* – Донецк: ДонНТУ, 2005. Вып. 29. - С. 229-238. **9.** *Неченаев В. Г., Гнисько А. Н.* Разработка математической модели удаления стружки напорными струями СОТС при фрезеровании Т-образных пазов // *Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов.* – Донецк: ДонГТУ, 2002. Вып. 21. - С.146-150.